

VI-238

月面構造物設計条件の検討
～月面居住施設における遮蔽材レゴリスの検討～

東急建設(株) 正員 大橋 康廣
○ 東急建設(株) 正員 奥村 幹也

1. はじめに

月面基地の設計・施工に際し検討項目は数多く、月面固有の問題や制約条件が存在し、放射線遮蔽もその一つである。本報告では、NASA提案¹⁾の月面居住施設でも放射線遮蔽材料として考えられている月の表土「レゴリス」を取り上げ、その遮蔽構造物としての設計検討の第一歩として、レゴリス層の必要厚を求める。

2. 月面での宇宙線強度

月面上の放射線環境の供給源として、銀河宇宙線と大規模な太陽フレアを考慮する。数カ月にわたる長期ミッションでは一定強度で高エネルギー(1MeV～ 10^{14} MeV)の粒子が散発的に放射される銀河宇宙線が問題となる。短期ミッションの場合には、1日以下の短い期間で比較的低エネルギー(1MeV～数百MeV)の粒子が大量に放射される大規模な太陽フレアが問題となる。これは太陽活動の強弱を表す11年の一太陽周期のうち、太陽活動期にだけ観察され、一太陽周期あたり僅かに1～2回発生するだけである。

3. 放射線被曝量許容値

放射線被曝に関する国際放射線防護委員会(ICRP)勧告は、職業上被曝する成人に対する年間許容被曝量を5remとしている。一方、NASAは地球圏外ミッションでの宇宙飛行士の被曝に対し、独自の基準を設け年間許容被曝量を50remとしている。SI単位系では線量等量の単位はremではなくSvであるが、ここではNASAから公表されている資料を用いる便宜上remを用いる(100rem=1Sv)。月面到達までにVan Allen帯通過等による被曝量も無視できないが、本報告ではそれら無視し、月面における被曝だけを考慮する。

4. レゴリスの利点

地球上では、放射線遮蔽材として水や鉄筋コンクリートが安価で豊富に存在し優れた材料である。しかし、月面で水を得ることは容易ではない。そこで、現地調達できる豊富な放射線遮蔽材料として「レゴリス」は位置付けされる。また、材料精製プロセス等の作業を必要とせず、現地で未加工のまま使用できるので、材料調達のコストの面からも非常に有利である。

5. レゴリスの放射線阻止能

放射線遮蔽能力はレゴリスの単位体積重量 γ (g/cm³)に依存し、NASAは $\gamma=1.5\text{g/cm}^3$ としたレゴリスの放射線阻止能を詳細に計算している^{2),3)}。図1は銀河宇宙線に対するレゴリスの放射線阻止能、図2は三つの代表的な太陽フレアに対するレゴリスの放射線阻止能を示す。図1, 2のレゴリス層厚と放射線被曝量との関係は、NASA基準をもとに個々のケースを想定し、ICRP基準より多くの被曝を前提としている。そのため、レゴリスの層厚が比較的薄い部分しか表示していない。しかし、銀河宇宙線(図1)および1956年2月の太陽フレア(図2)でのレゴリス厚と被曝量の関係は、総被曝量が図中のレゴリス層の厚い部分でほぼ直線関係にあるので、図示された層厚より厚い部分を、直線による外挿により推定する。すなわち、銀河宇宙線と太陽フレアによる被曝量とレゴリス層厚との関係を、銀河宇宙線による被曝量 R_1 、太陽フレアによる被曝量 R_2 、遮蔽材としてのレゴリスの層厚をそれぞれ h_1 , h_2 として次式で表す。

$$R_1 = -0.025h_1 + 12.85, \quad \log R_2 = -0.14h_2 + 22.0$$

①銀河宇宙線だけの被曝を想定する場合 ICRP基準に対し($R_1=5$, $R_2=0$)、必要レゴリス層厚は314cmである。NASA基準では($R_1=50$, $R_2=0$)、層厚0.0cmでの被曝量が図1より14remで、放射線に対する遮蔽は必要ないが、微隕石からの防御のためにある程度のレゴリスシールドが必要である。

②銀河宇宙線と大規模な太陽フレアの1回被曝を想定する場合 1956年2月の太陽フレア級の発生頻度を1回

と仮定し、ICRP基準では($R_1+R_2=5$)層厚は314cmである。①と比較して、太陽フレアによる被曝量はこの層厚では無視できる。NASA基準では($R_1+R_2=50$)層厚は145.639cmである。このとき、被曝量50remの内訳は、銀河宇宙線9.21rem、太陽フレア40.79remである。この程度の層厚では、太陽フレアの影響が非常に大きいことがわかる。ところで、実際の施工上、0.01mmのレゴリス層厚の管理は不可能で、1cmの単位まで切り上げた安全側の値146cmが妥当である。この146cmのレゴリス厚での被曝量は45.51remで、内訳は銀河宇宙線が9.20rem、太陽フレア36.31remである。

③銀河宇宙線と大規模な太陽フレアの2回被曝を想定する場合 1956年2月の太陽フレア級の発生頻度を2回と仮定し、ICRP基準では($R_1+2R_2=5$)層厚は314cmで、この場合も太陽フレアによる影響は無視できる。NASA基準では($R_1+2R_2=50$)層厚は147.785cmである。この被曝量50remの内訳は、銀河宇宙線9.15rem、太陽フレア40.85remである。②と同様に安全側に切り上げた値148cmが施工上妥当な値である。この148cmのレゴリス厚に対し被曝量は47.26remで、内訳は銀河宇宙線38.11rem、2回の太陽フレア9.15remである。大規模な太陽フレアの発生頻度が1回の場合との差は僅かに2cmであり、土構造物を設計する場合の、設計マージン(いわゆる安全率)に含まれるほどの小さな値である。

6. 遮蔽構造

月面居住施設の基礎部構築時等、レゴリス掘削の土工事が行われ、対応する建設ロボット等の施工機材が地球から輸送される。機材の経済的かつ効率的な運用の面から、レゴリスを直接盛土し、それを締め固めて、居住施設を囲む放射線遮蔽構造を構築することは有利な工法の一つであると考えられる。本報告の解析結果のように、レゴリス層厚が比較的厚い場合には施工土量も多く、土量確保のために周囲のレゴリスを掻き集める必要があり、その施工法も検討項目の一つとなるであろう。また、今後の設計における研究課題として、このレゴリスの直接盛土の土構造物としての安定性の検討の必要もある。

7. まとめ

月面基地居住施設の放射線遮蔽について、遮蔽材として月の表土「レゴリス」を用いた場合の必要な層厚を、NASAが公表している計算値を含むデータをもとに求めた。これらの層厚はレゴリスの $\gamma = 1.5\text{g/cm}^3$ として求め、施工管理の点から1cmの単位まで安全側に切り上げた値である。また、この $\gamma = 1.5\text{g/cm}^3$ を確保するには盛土に対する転圧等の締め固めの工程が必要である。

本研究は宇宙開発建設研究会の「月面構造物設計条件の検討」ワーキングの活動(大林組、鹿島、熊谷組、佐藤工業、銭高組、地崎工業、東急建設、西松建設、間組、フジタ、三井建設)の成果⁴⁾の一部である。

参考文献

- 1) NASA - Johnson Space Center, Lunar Outpost, JSC - 23613, 1989.
- 2) Nealy, J.E. et al., Proc. 19th Int. Conf. on Environmental Systems, 1989.
- 3) Nealy, J.E., et al., NASA Technical Paper 2869, 1988.
- 4) 宇宙開発建設研究会, 第1回宇宙と建設シンポジウム講演集, 1991.

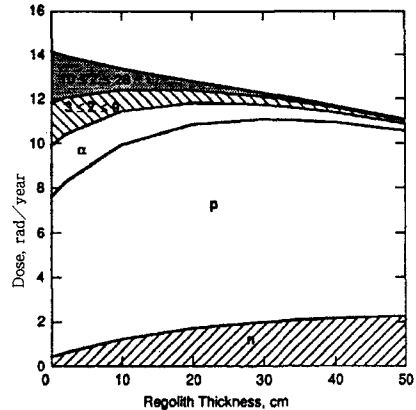


図1 銀河宇宙線年間被曝量とレゴリス層厚²⁾

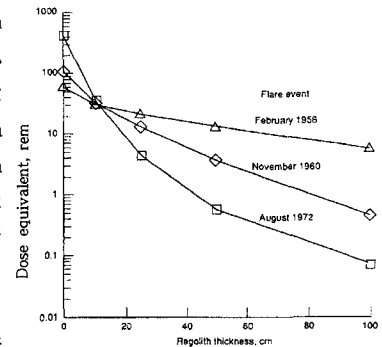


図2 太陽フレア被曝量とレゴリス層厚³⁾